

PÖLYNSIDONTA KALSIUMKLORIDILLA

**TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS
RAKENTAMISTALouden TOIMISTO 1976**

TVH 2.873 A4

HANNU VIRTASALO

**PÖLYNSIDONTA
KALSIUMKLORIDILLA**

TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS

RAKENTAMISTALOUDEN TOIMISTO 1976

TVH 2.873 A4

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO
2. TUTKIMUKSEN TARKOITUS
3. SORATIEEN KULUTUSKERROKSEN KUNNOSSAPITOTYÖT
 - 3.1 YLEISTÄ
 - 3.2 PÖLYNSIDONTA
 - 3.21 Yleistä
 - 3.22 Pölynsidonta kalsiumkloridilla
 - 3.221 Raepölynsidonta
 - 3.222 Liuospölynsidonta
4. TUTKIMUKSEN SUORITUS
 - 4.1 TUTKITUT TYÖMENETELMÄT
 - 4.2 VIIKOTTAIN TEHDYT HAVAINNOT
 - 4.3 TUTKIMUSAINEISTON KÄSITTELY
5. TUTKIMUSTULOKSET
 - 5.1 KULUTUSKERROKSEN SUOLAPITOISUUS
 - 5.2 KULUTUSKERROKSEN TIIVEYS
6. TUTKIMUSTULOSTEN SOVELTAMINEN
 - 6.1 SORATIEEN KULUTUSKERROKSEN RAKEISUUS
 - 6.2 PÖLYNSIDONNAN SUORITTAMINEN
 - 6.3 LEVITETTÄVÄT SUOLAMÄÄRÄT
 - 6.4 MUUTOSTEN TALOUDELLISET VAIKUTUKSET

1. JOHDANTO

Kunnossapidon osuus koko tienpidon menoista on jatkuvasti kasvanut. 60-luvun alkupuolella se oli noin 25 % ja nykyisin jo runsaat 40 %. Tämän hetkisten ennusteiden mukaan saavutetaan 50 %:n raja vielä ennen 1980-lukua.

Tämänlaatuinen kehitys on pakottanut tie- ja vesirakennuslaitoksen (TVL) 60-luvun loppupuolelta alkaen järjestelmällisesti paneutumaan kunnossapitosysteemin kehittämiseen ja vuodesta 1970 alkaen on kunnossapidon kehittämis- ja tutkimustyöhön myönnettyjen määrärahojen osuus ollut yli puolet TVL:n koko kehittämistoimintaan myönnettyistä varoista. Kunnossapitoon kohdistuvilla tutkimuksilla on pyritty tuottavuuden ja taloudellisuuden lisäämiseen sekä uusien työmenetelmien tutkimiseen.

Tämä esitys on tiivistelmä vuosien 1974-75 aikana suoritetusta laajas-
ta sorateiden kunnossapitoa käsittelevästä tutkimussarjasta, jossa on tarkasteltu kalsiumkloridilla suoritettavaa pölynsidontaa ja sen vaikutusta muihin sorateiden kunnossapitotöihin.

2. TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Pölynsidontatutkimuksilla pyrittiin löytämään pölynsidonnan optimikustannukset etsimällä edullisimmat toimintayksiköt ja työmenetelmät sekä taloudellisin materiaalin käyttötapa eri olosuhteissa. Tämän päämäärän saavuttamiseksi tarkasteltiin kunnossapitotoimenpiteiden, tien kunnan ja liikennemäärien välillä olevia korvattavuus- ja riippuvuussuhteita. Erityisesti pyrittiin vertailemaan maassamme uuden nk. sekoitusmenetelmällä suoritetun pölynsidonnan ja vanhan raepölynsidonnan ominaisuuksia. Lisäksi tutkittiin soratien kulutuskerroksen rakeisuuden vaikutusta pölynsidonnan ja muiden kunnossapitotöiden toistuvuuteen.

3. SORATIEN KULUTUSKERROKSEN KUNNOSSAPITOTYÖT

3.1 YLEISTÄ

Tienpäällystystekniikan kehittyessä on päähuomio yleensä kiinnitetty kestopäällysteiden kehittämiseen. Soratiet ovat jääneet vähemmälle huomiolle ja niitä on pidetty kunnossa vanhojen totuttujen menetelmien mukaan. Sorapäällysteiset tiet ovat kuitenkin maamme suurin tieluokka.

Vuoden 1974 lopussa oli sorapääallysteisiä yleiselle liikenteelle tarkoitettuja teitä noin 43.210 km ja niiden osuus yleisten teiden kokonaispituudesta oli noin 59 %.

Kunnossapidossa tarvittavien materiaalmäärien mitoittamista varten laaditun aineiston perusteella tulisi vuonna 1985 sorapääallysteisiä yleisiä teitä olemaan noin 27 000...43 000 km. Sorateiden osuus teiden kokonaismäärästä tulee siis vielä kauan säilymään huomattavana.

Sorapintaisten teiden suuresta määrästä johtuen nostaa huono sorakulutuserroksen kunnossapito sekä tienpitäjän että liikenteen kustannuksia tuntuvasti. Koska sorateiden kunnossapitokustannukset ovat muihin tiettyyppeihin verrattuna varsin korkeat on niiden kunnossapitomenetelmiin syytä kiinnittää huomiota. Sorateiden kunnossapidossa muodostaa suurimman menoerän kulutuserroksen kunnossapito, johon vuonna 1974 käytettiin noin 78,4 milj.mk eli noin 28,5 % teiden kunnossapitokustannuksista. Tärkeimmät sorateiden kulutuserroksen kunnossapitotyöt ovat:

- tasaus höyläämällä
- tasaus lanaamalla
- kuluneiden aineisten korvaaminen
- pölynsidonta.

Taulukossa 1 on esitetty tärkeimpien sorateiden kulutuserroksen kunnossapitotöiden suoritemäärät, kustannukset ja kustannusosuudet vuonna 1974.

Kunnossapitotyöt	Suoritemäärä	milj. mk	osuus %	osuus teiden kp.kust. %
tasaus ja muokkaus höyläämällä	2,08 milj.km	21,3	30,2	7,7
pölynsidonta	58650 t	21,1	30,0	7,7
kuluneiden aineiden korvaaminen	1,76 milj.m ³ itd	28,2	39,8	10,2
	-	70,6	100	25,6

Taulukko 1. Sorateiden kulutuserroksen kunnossapitotöiden suoritemäärät, kustannukset ja kustannusosuudet vuonna 1974.

Sorateiden kunnossapitotoimenpiteiden tien yleisen kunnon ja liikennemäärien välillä on olemassa keskinäisiä riippuvuussuhteita, jotka selvittämällä luodaan edellytykset savioratien kulutuserroksen pitämiseksi liikenteen edellyttämässä kunnossa minimikustannuksin.

Tässä esityksessä tarkastellaan saviorateiden kunnossapitotöistä ai-noastaan kalsiumkloridilla suoritettua pölynsidontaa.

3.2 PÖLYNSIDONTA

3.21 Yleistä

Pölynsidonnan tarkoituksena on estää tien pölyäminen sekä sitoa kulu-tuskerroksen hienoaaines tiehen. Tavoitteena on tällöin:

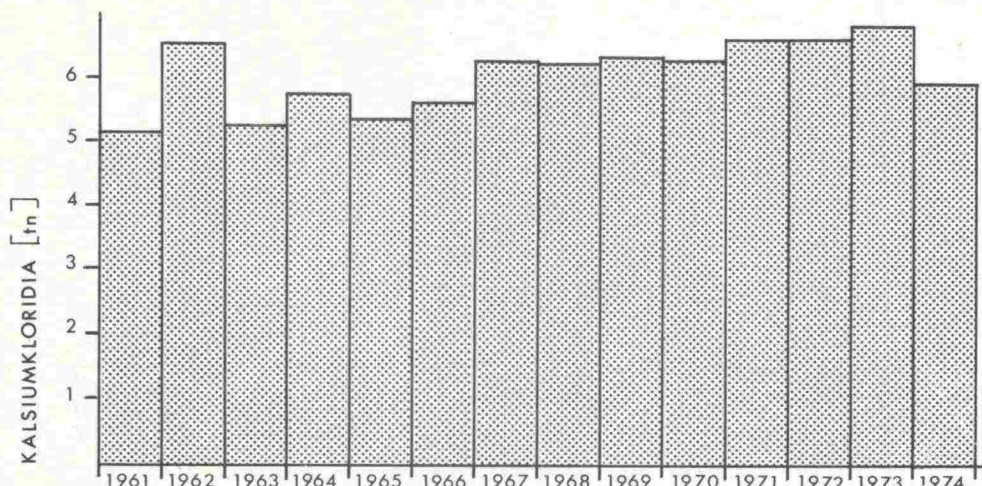
- suojata ympäristöä pölyltä ja liialta
- parantaa liikenneturvallisuutta ja ajomukavuutta
- parantaa tien liikenteenvälityskykyä
- vähentää tien käyttäjien ajokustannuksia
- vähentää kulutuskerrosmateriaalien menekkiä
- vähentää kulutuskerroksen tasaustarvetta.

Ympäristön suojaamisella on merkitystä tien käyttäjille, tienvarren asukkaille sekä pölyn leviämisalueen maankäytölle yleensä. Liikenne-turvallisuus kasvaa näkyvyyden parantuessa pölyämättömällä tiellä sekä karkeamman aineksen kiinnittyessä paremmin tiehen pölynsidonta-aineen stabiloivan vaikutuksen ansiosta. Ajokustannukset pienenevät ja tien liikenteenvälityskyky paranee sidotun ja pölyttömän tienpinnan mahdol-listaessa ajonopeuden nostamisen. Pölyävän tien irtonainen kiviaines vaurioittaa lisäksi maalipintoja aiheuttaen myös lisäkustannuksia.

Tienpitäjän kannalta on pölynsidonnan tärkeimpiä tavoitteita kulutus-kerrosmateriaalin menekin vähentäminen. Pölynsidontaa tarvitaan kun tie on kuivimmillaan ja hienon aineksen sitova vaikutus pyrkii häviä-mään veden aiheuttaman rakeiden välisen tartuntavoiman vähetessä.

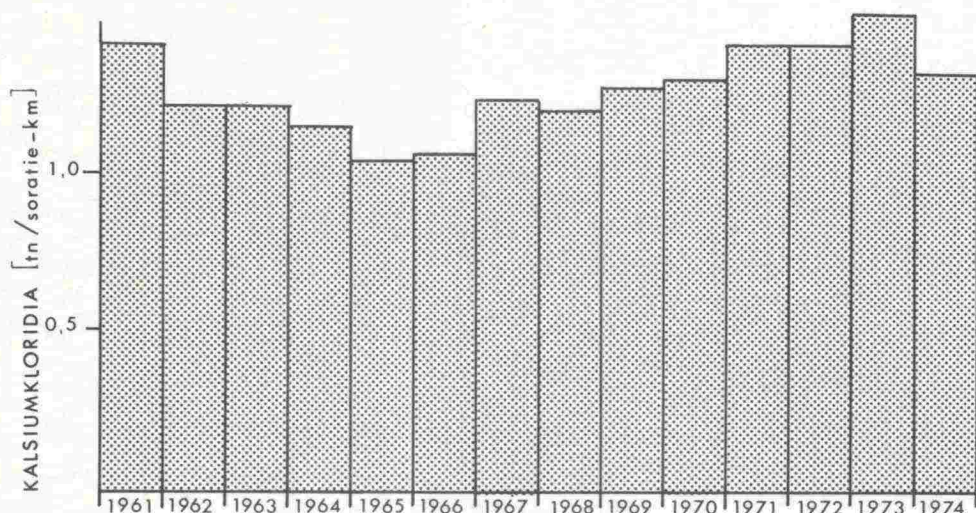
3.22 Pölynsidonta kalsiumkloridilla

Kalsiumkloridi (CaCl_2) on yleisin pölynsidonta-aine maassamme. Sateis-ta kesää 1974 lukuunottamatta on pölynsidontaan käytetty kalsiumklori-dimäärä kasvanut jatkuvasti. Kasvu johtuu pääasiassa siitä, että myös vähäliikenteisten paikallisteiden pölynsidontaan on yhä enemmän ruvet-tu käyttämään kalsiumkloridia. Vuosina 1961...1974 käytetyt kalsium-kloridimäärät ilmenevät kuvasta 1 (seuraavalla sivulla).



Kuva 1. Pölynsidontaan käytetyt kalsiumkloridimäärät vuosina 1961...1974.

Soratiekilometriä kohti käytetty suolamäärä on laskenut vuoteen 1965 asti. Tämä on aiheutunut sorapintaisten yleisten teiden pituuden kasvusta, joka on hidastunut vasta 1960-luvun loppupuolella. Vuodesta 1966 alkaen on soratiekilometriä kohden käytetty kalsiumkloridimäärä alkanut jälleen kasvaa (kuva 2).



Kuva 2. Soratiekilometriä kohti käytetyt kalsiumkloridimäärät vuosina 1961...1974.

Kalsiumkloridia levitetään tielle joko sellaisenaan (raepölynsidonta) tai veteen liuotettuna (liuospölynsidonta).

3.221 Raepölynsidonta

Raepölynsidonta on tyypillinen kuljetustoiminnalle rakentuva kunnossapitotyö. Se voidaan helposti ositella seuraaviin työvaiheisiin:

- kuormaus
- kuljetus
- purku (levitys)
- paluu tyhjänä.

Kuormaus suolavarastosta kuljetusvälineeseen voidaan suorittaa pelkästään miestyönä, hihnakuljettimella tai traktorikuormaajalla. Myös siilojen käyttöä on kokeiltu. Kuormattaessa kalsiumkloridia hihnakuljettimella voidaan työjärjestelyillä vähentää säkkien nostoa ja kantoa. Hihnakuljettimen alapää sijoitetaan varastoon säkkipinojen lähelle ja yläpää varaston ulkopuolelle auton lavan ulottuville. Työn edistytessä voidaan hihnakuljetinta ja autoa tarpeen mukaan siirtää. Suola siirtyy hihnakuljettimella auton lavalle joko säkkeinä tai irtotavarana. Jälkimmäisessä tapauksessa säkit rikotaan kuljettimen alapäästä olevalle ritilälle joko teräaseella tai pudottamalla säkki ritilälle kiinnitetyn terän päälle. Säkkien rikkominen voidaan myös suorittaa kuljettimen yläpäähän kiinnitetyn terän avulla.

Kalsiumkloridin kuormaus traktorikuormaajalla tapahtuu siten, että suolasäkit lasketaan varaston sisään ajetun kuormaajan kauhaan (10...20 säkkiä). Kauhakuormaajalla säkit nostetaan auton lavan yläpuolelle. Auton lavalla oleva työmies rikkoo suolasäkit esim. lapiolla, jolloin suola valuu auton lavalle. Kuormaaja voi helpottaa valumista kauhaa kallistamalla. Kuormaajan lisäksi tarvitaan 1...2 apumiestä.

Suolan kuormauksessa voidaan säkkien siirtelyyn käyttää apuna myös karryjä, trukkeja tms.

Levityskohteessa käy kuljettaja tai apumies laittamassa levittimen käyttökuntoon. Yleisimmät levitinmallit ovat kuorma-auton perälaudan paikalle kiinnitettäviä hiekan- tai suolanlevittäjiä. Levittimessä on luukkuja, joiden avulla voidaan säädellä levitettävän suolan määrää ja levitysleveyyttä. Levittimen syöttöpöytä saadaan tärisemään sähkömoottorin ja epäkeskolevyn avulla. Tärytyksen ansiosta suola valuu hyvin tielle eikä lavaa tarvitse nostaa kovin pystyyn. Kuvassa 3 (seuraavalla sivulla) suoritetaan suolan levitystä auton perälautaan kiinnitettävällä Arbrå-hiekanlevittimellä.



Kuva 3. Suolan levitys Arbrå-hiekanlevittimellä.

Jonkin verran käytetään myös levitinmallia, jota vedetään kuorma-auton perässä (kuva 4). Suola valuu tähän levittimeen kuorma-auton lavalta auton kippiä säätelemällä.



Kuva 4. Suolan levitys Epoke-hiekanlevittimellä.

Levitettävän suolan määrä säädetään levittimen aukoilla, ajonopeudella ja auton lavan asemalla yleensä siten, että suolausauto ajaa 1...3 kertaa tieosalla. Tavallisesti levitetään suola ensin kummallekin ajokais-talle ja kolmas kerta ajetaan tien keskellä. Kolmas ajokerta suori-te-taan usein ainoastaan peltoaukeiden reunustamilla tienosilla tai mäen-harjoilla.

Levitettävät suolamäärät riippuvat mm. tien liikennemäärästä, suolaus-ajankohdasta, tieosan sijainnista tms. On paljon pieniä paikallistei-tä, joilla ei suoriteta lainkaan raepölynsidontaa, kun taas toisinaan vastaavanlaisen tien varrella olevan asutuksen tms. vuoksi joudutaan tieosalla suorittamaan pölynsidontaa. Kerrallaan levitettävät määrät vaihtelevat 1000...2500 kg/km keskiarvon ja neliöhajonnan ollessa vuon-na 1973 $1,5 \pm 0,4$ t/km. Poikkeuksellisen sateisena kesänä 1974 laski soratiekilometriä kohti levitettävä suolamäärä arvoon $1,32 \pm 0,34$ t/km (katso kuva 2). Levitettäviin määriin vaikuttavat paljon paikallisen tiemestarin omat käsitykset ja tottumukset.

Ensimmäinen varsinainen pölynsidonta suoritetaan yleensä keväällä side-aineen lisäyksen ja muokkauksen yhteydessä. Tätä ennen saatetaan suo-rittaa ensiapuluontoista pölynsidontaa lipeällä tai nk. liuos-pölynsi-dontana, jos tien pinta kuivuu hyvin nopeasti, mutta itse tien runko on vielä roudassa. Kun kalsiumkloridi levitetään tielle tulee tien-pinnan olla sopivan kostea koko kalsiumkloridin liukenemisen ajan. Normaalisti liittyy suolan levitykseen keinotekoinen kastelu. Suola voidaan levittää myös heti sateen jälkeen, jolloin säästytään kastelu-kustannuksilta. Tien pinnan kosteudella on suuri merkitys työn onnis-tumiselle. Levityshetkellä ei tien pinta saa olla märkä ja roiskuva, vaan kostea ja melko pehmeä. Kun suolaus suoritetaan oikealla hetkel-lä jyrää liikenne suolan syvälle tien kulutuskerrokseen ja suolauksen vaikutusaika pitenee. Suolauksen ajoitus riippuu säästä ja paikalli-sista olosuhteista eikä sen suhteen voida antaa mitään ohje-arvoja, vaan tiemestarin ja työnjohdon kokemus ratkaisee usein koko työn onnistumi-sen.

Länsi-Saksasta on peräisin menetelmä, jossa kalsiumkloridi sekoitetaan kulutuskerrokseen. Saksalaisten kokemusten mukaan päästään tällä mene-telmällä pintasuolausta pitempiaikaisempaan pölynsidontavaikutukseen. Näin säästytään pölynsidonnan uusimiselta ja lisäksi menetelmä vähentää kulutuskerrosmateriaalin menekkiä. Saksalaiseen menetelmään liittyy usein sekoituksen jälkeen tapahtuva jyräys, jonka on todettu paranta-van lopputulosta.

Suomessa on saksalaista menetelmää ennen kesiä 1974...75 kokeiltu vuonna 1972 Orimattilan tiemestaripiirissä. Tämän kokeilun aikana tehtyjen havaintojen puutteellisuuden vuoksi ei menetelmän paremmuudesta vanhaan käytäntöön nähden kuitenkaan saatu näyttöä. Tämän tiivistelmän aineisto on osittain koottu tieosilta, joilla on noudatettu saksalaisten menetelmää. Näistä saatuja tuloksia ja kokemuksia tarkastellaan kohdassa 5.

3.222 Liuospölynsidonta

Liuospölynsidontaa on pidettävä lähinnä vain ensiavun luontoisena toimenpiteenä. Liuosmenetelmässä kalsiumkloridia liuotetaan ennen levitystä veteen 50...20 kg/m³.

Liuospölynsidontaa käytetään kevään ensimmäisiin pölynsidontatöihin. Tällöin on yleensä kyseessä tilanne, jolloin routa ei vielä ole sulanut mutta tien kuiva pintakerros vaatii jo pölynsidontaa. Tällöin käytetään suolaliuosta ja varsinaisen raepölynsidonta suoritetaan roudan sulattua tien muokkauksen ja kulutuskerrosmateriaalin lisäyksen yhteydessä.

Lyhytaikaisen pölynsidontavaikutuksen vuoksi tulisi liuospölynsidonnasta mahdollisuuksien mukaan kokonaan luopua.

4. TUTKIMUKSEN SUORITUS

4.1 TUTKITUT TYÖMENETELMÄT

Tutkimuksen kohteeksi pyrittiin valitsemaan pölynsidontatyö, joka suoritettiin soran ja/tai sidemaan lisäyksen yhteydessä. Tutkittavalla tieosalla suoritettiin pölynsidontaa kahdella eri menetelmällä.

I Kalsiumkloridi levitettiin tielle normaalina pintasuolauksena kulutuskerrosmateriaalin lisäyksen yhteydessä tapahtuneen muokkauksen jälkeen pinnan ollessa sopivan kostea.

II Kalsiumkloridi levitettiin tielle muokkauksen yhteydessä ja sekoitettiin lanalla tai tiehöylällä kulutuskerrokseen. Sekoituksen jälkeen suoritettiin joissakin kohteissa kerroksen tiivistys kumipyöräjyrällä.

Tutkittaville tieosille järjestettiin kullekin 7 koeosuutta, joille levitettiin eri menetelmillä suolaa seuraavasti:

Koe- osuus	Suolamäärä kg/m ²	x) kg/km	Työmenetelmä
1	0,3	1000	I
2	0,7	2000	I
3	1,0	3000	I
4	0,3	1000	II
5	0,7	2000	II
6	1,0	3000	II
7	1,3	4000	II

x) Suolanlevittimen työskentelyleveys on 3 m.

4.2 VIIKOTTAIN TEHDYT HAVAINNOT

Viikottain tehdyillä havainnoilla pyrittiin selvittämään pölynsidonnan pysyvyyttä, kulutuskerroksen kestävyyttä sekä pölynsidonnan jälkeisten kunnossapitotöiden määrää ja laatua. Viikottaiset havainnot koostuivat seuraavista tutkimuksista ja havainnoista:

- materiaalitutkimukset
- kuluvuustutkimukset
- selvitykset koeosuksien kunnosta
- säähavainnot
- selvitykset tutkitun työn jälkeisistä kunnossapitotoimenpiteistä.

Materiaalitutkimuksissa tutkittiin kulutuskerroksen rakeisuus normaallilla pesuseulonnalla. Vesipitoisuus määritettiin prosentteina kuivatun maa-aineksen painosta TVH:n maarakennusalan tutkimus ja suunnitteluhjeiden mukaan. Lisäksi määritettiin kulutuskerroksen näytteiden suolapitoisuus (o/oo CaCl₂).

Säähavainnot saatiin kutakin tutkimuspaikkaa lähinnä olevalta säähavaintoasemalta. Päivittäin pyrittiin kirjaamaan seuraavat säätiedot:

- sademäärä mm/aika
- lämpötila °C/päivä
- suhteellinen kosteus päivällä ja yöllä
- pilvisuus.

Lisäksi selvitettiin esim. paikallisen tiemestarin avustuksella sellaiset sadekuurot ja muut paikalliset sääilmiöt, jotka eivät käyneet ilmi yleisistä säähavainnoista.

Näytteiden oton yhteydessä tehtiin laatustandardin TVH rek.no 2933 mukaiset havainnot tien kunnosta, jolloin huomioitiin:

- tien yleiskunto
- tien pinnan tasaisuus
- tien pölyävyys
- tien pinnan kiinteys.

Tieosuuksien kunnan heikentyessä niillä suoritettiin normaalit kunnossapitotyöt. Näin meneteltiin kuitenkin vain sellaisilla koeosuuksilla, joiden kunto edellytti kunnossapitotoimenpiteitä. Tällaisten töiden yhteydessä kirjattiin tutkimuslomakkeisiin työn suoritusajankohta, työ- ja materiaalimenekit.

Tutkimus kesti kaikissa tutkimuskohteissa suolan levityksestä heinäkuun loppupuolelle asti.

4.3 TUTKIMUSAINEISTON KÄSITTELY

Laaja tutkimusaineisto käsiteltiin sekä manuaalisesti että ATK:n avulla. ATK-käsittelyn tärkeimmän vaiheen muodostivat regressioanalyysit, joilla tutkittiin suolapitoisuuksien riippuvuutta muista muuttujista. Muuttujien keskinäisiä riippuvuuksia tutkittiin lineaaristen korrelaatiokertoimien avulla.

5. T U T K I M U S T U L O K S E T

5.1 KULUTUSKERROKSEN SUOLAPITOISUUS

Suolausmenetelmästä riippumatta laski kulutuskerroksen suolapitoisuutta

- ilmankosteuden lisääntyminen
- sateiden lisääntyminen
- kulutuskerroksen vesipitoisuuden lisääntyminen
- ajan kuluminen
- kulutuskerroksen rakeisuuskäyrän muodon poikkeaminen ohjealueelta (nk. "hiekkakyhmy")
- liikennemäärän kasvu.

Kulutuskerroksen suolapitoisuus kasvoi

- levitetyn suolamäärän kasvaessa
- kulutuskerroksen hienoainespitoisuuden kasvaessa.

Liikennemäärän kasvun suolapitoisuutta vähentävä vaikutus oli voimakkaampi pintasuolauksella kuin sekoitussuolatuilla tieosuuksilla.

Sekoitussuolattu ja tiivistetty tie säilytti suolapitoisuutensa yleensä kauemmin kuin samalla suolamäärällä pintasuolattu tiivistämätön tie.

Suolapitoisuus riippuu hyvin voimakkaasti kulutuskerroksen rakeisuudesta. Suolapitoisuuden kannalta on edullisin tie, jonka kulutuskerroksen rakeisuuskäyrä kulkee TVL:n ohjealueen yläpuolella, ts. sisältää suositeltua enemmän hienoaainesta (läpäisy% seulalla $\# 0.074 \text{ mm} \geq 12 \%$), eikä sisällä 12 mm karkeampia raekokoja. Tällaisessa kulutuskerroksessa varastoituu suola sateisina kausina kulutuskerroksen pintaosaa syvemmälle ja nousee tarvittaessa kuivana aikana takaisin tien pintakerrokseen.

Soratien kulutuskerroksen rakeisuuskäyrän muodon tulee noudattaa TVL:n ohjealueen rajakäyrien muotoa kyetäkseen säilyttämään suolapitoisuudet korkeina. Kulutuskerroksen huono suhteutus, joka rakeisuuskäyrässä ilmenee ylimääräisenä kyhmyinä, aiheuttaa koko kulutuskerroksen löyhtymisen ja suolapitoisuuksien laskun. TVH:n nykyinen rakeisuusohjealue savoratien kulutuskerrokselle on esitetty kuvassa 5 sivulla 3.

5.2 KULUTUSKERROKSEN TIIVEYS

Yhtä poikkeusta lukuunottamatta ei pintasuolatuilla koeosuuksilla suoritettu kulutuskerroksen tiivistämistä suolauksen jälkeen. Sekoitussuolatut koeosuudet tiivistettiin yleensä välittömästi suolan sekoittamisen jälkeen. Pintasuolatuilla koeosuuksilla liikenne hakeutui helposti samoihin ajouriin muodostaen keskitielle irtonaisesta kulutuskerrosaineksesta palteen, jonne liikenteen tiivistävä vaikutus ulottui vain ohitus- ja sivuutustilanteissa. Raiteiden muodostuminen heikensi huomattavasti ajomukavuutta. Pelkän keskitieraiteen käyttö heikensi tien mutkakohdissa myös liikenneturvallisuutta. Raiteiden muodostuminen oli voimakkainta kulutuskerrosmaterian ollessa huonosti tiivistyvää (pieni hienoaainemäärä ja suuri maksimiraekoko).

Tiivistetyillä ja sekoitussuolatuilla koeosuuksilla oli raiteiden muodostuminen vähäistä ja liikenne käytti tehokkaasti hyväkseen koko tieleveyttä. Irtonaista kulutuskerrosainesta ei karkeimpia rakeita ($\# \geq 12 \text{ mm}$) lukuunottamatta esiintynyt tiivistetyillä koeosuuksilla.

Tiivistetyillä tieosilla ei sadevesi jäänyt ajoradalle eikä tie kuoppaantunut yhtä nopeasti kuin tiivistämättömillä osuuksilla. Tiivistetyksen merkitys näkyi kaikissa tutkimuskohteissa. Tiivistetyt kohteet

säilyivät suolausmenetelmästä riippumatta pitempään hyväkuntoisina kuin tiivistämättömät koeosuudet. Eriytyisen tarpeelliseksi tiivistys osoitautui sellaisilla teillä, joissa liikenteen tiivistävä vaikutus oli liikennemäärien pienuuden vuoksi vähäinen.

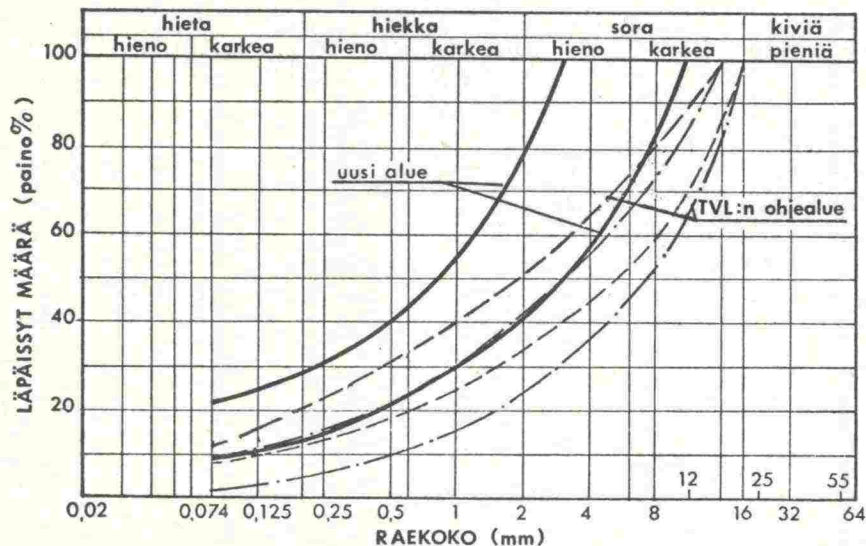
6. TUTKIMUSTULOSTEN SOVELTAMINEN

6.1 SORATIENTEN KULUTUSKERROKSEN RAKEISUUS

TVL:n rakeisuusohjealue on huomattavasti karkeampi kuin esim. Ruotsin ja Länsi-Saksan ohjealueet. Kokeen kuluessa havaittiin selvä taipumus kulutuskerroksen maksimiraekoon pienenemiseen. Kokeessa mukana olleiden sorateiden keskimääräinen rakeisuuskäyrä kulki koko ajan TVL:n ohjealueen yläpuolella. Tien reunoille ja keskitielle kertynyt irtonainen aines oli rakeisuudeltaan karkeaa. Karkein aines (raekoko # 12 ...20 mm) ei sitoutunut riittävästi joko hienoaineksen puutteen tai karkean aineksen liian suuren määrän vuoksi. Hienoaineksen (raekoko # 0.074 mm) läpäisyprosentin voimakas nostaminen esimerkiksi Länsi-Saksan ohjearvojen mukaan aina 22 %:iin saattaa tehdä Suomen rakentamattomat soratiet routiviksi, joten siihen on suhtauduttava varauksin. Rakennetuilla tiellä, joilla on roudan nousun estämiseen tarvittavat kerrokset, voidaan hienoaainespitoisuutta nykyisestäään nostaa tiiviimmän kulutuskerroksen saavuttamiseksi. Tutkimuksiin perustuvia tietoja korkean hienoaainespitoisuuden vaikutuksesta soratien routivuuteen ei ole toistaiseksi käytettävissä, vaan nykyiset tiedot perustuvat vanhoihin kokemuksiin ja käsityksiin.

Toinen tapa saada kulutuskerros tiiviimmäksi on pienentää kulutuskerroksen rakeisuusohjealueen suurinta raekokoa nykyisestä 18...20 mm:stä 12 mm:iin. Tätä kantaa tukee myös Lohjan tiemestaripiirissä saadut myönteiset kokemukset lajitteella 0...6 mm. Jotta maksimiraekoon muuttaminen ei vaikeutuisi epäedullisesti rakeisuuskäyrän muotoon on samalla aiheellista nostaa rakeisuusohjekäyrää koko matkaltaan. Kuvassa 5 (seuraavalla sivulla) on esitetty ehdotus soratien kulutuskerrokseen käytettävän murskesoran uudeksi rakeisuusohjealueeksi. Rakeisuusohjealueen muuttamisen vaikutusta soratien kantavuuteen on kesästä 1975 asti tutkittu TVL:n Kainuun piirissä. Kesällä ja syksyllä -75 suoritettujen kantavuusmittaukset eivät ole osoittaneet rakeisuusohjealueen muutoksen aiheuttaneen merkittäviä muutoksia kantavuusarvoissa. Keväällä -76 tehtävien kelirikkoajan mittauksien jälkeen voitaneen lopullisesti päättää savisoratien kulutuskerroksen rakeisuusohjealueen uusimisesta. Taulukon 1, sivulla 4, mukaan muodostaa kuluneiden aineiden korvaaminen suurimman menoerän sorateiden kulutuskerroksen kunnossapitotöistä. Kuvan 5 mukaisella kulutuskerrosmateriaalilla pyritään saamaan soratien

pinta yhdessä sekoitussuolauksen kanssa niin tiiviiksi ja pysyväksi, että myös materiaalilisäykset pienenisivät. Lisäsäästöä saataisiin kunnossapitohöylästarpeen vähetessä.



Kuva 5. Ehdotus murskesorasta valmistettavan soratien kulutuskerroksen rakeisuusohjealueeksi.

Soratien kulutuskerrosaineita kuvan 3 mukaisesti suhteutettaessa on ensisijaisesti huomioitava seuraavaa:

- hienoainesmäärän \neq 0.074 mm on oltava riittävä (läpäisyprosentti \geq 12...18 %)
- hiekan ja soran kohdalla (\neq 0.5...6 mm) on varottava ylittämästä ohjearvoaluetta
- suurimman raekoon on oltava \leq 12 mm.

6.2 PÖLYNSIDONNAN SUORITTAMINEN

Tutkimuksen antamien tulosten perusteella ehdotetaan kalsiumkloridilla suoritettavan pölynsidonnan työmenetelmäksi seuraavaa:

1. Kevään ensimmäinen varsinainen pölynsidonta suoritetaan kulutuskerroksen muokkaustyön ja mahdollisten materiaalilisäysten yhteydessä. Tätä ennen tarvitaan mahdollisesti pienempiä paikallisia pölynsidontoja aukeilla maastokohdilla, joilla tien pinta kuivaa hyvin nopeasti.
2. Pölynsidonta suoritetaan sekoitusmenetelmällä, jossa kalsiumkloridi levitetään kostealle ja muokatulle tienpinnalle ennen viimeisiä

höyläys ja lanauskertoja. Kun pölynsidontatyö ajoitetaan tapahtuvaksi samanaikaisesti jokakevällisen muokkaus- ja materiaalilisäyksen yhteydessä ei sekoittamisesta aiheudu lisäkustannuksia.

3. Viimeisillä työkierroilla höylä (tai lana) sekoittaa levitetyn suolan kulutuskerrokseen ja viimeistelee pinnan. Suolan sekoittamiseen soveltuu lana höylää paremmin mutta karheenlevitintä käyttäen onnistuu sekoitus hyvin myös höylällä.
5. Sekoituksen ja viimeistelyn jälkeen pinta tiivistetään saatavissa olevalla tiivistyskalustolla. Parhaiten tiivistäminen onnistuu omalla voimallaan kulkevalla kumipyöräjyrällä (esim. LOKOMO AP 210), mutta myös valssijyrää voidaan käyttää. Käytettäessä tiivistykseen täryjyrää on työ suoritettava ilman täryä. Minimaalisin tiivistys voidaan suorittaa kuorma-autolla ajamalla mahdollisimman lähellä tien reunoja, jotta irtomainen kulutuskerros saataisiin edes hieman kiinteämmäksi. Tällainenkin puutteellinen tiivistys edistää tieleveyden hyväksikäyttöä ja ehkäisee jonkin verran ajoraitteiden muodostumista.
6. Tiivistyksen tahdistus on suoritettava huolellisesti tiivistys- ja sekoituskaluston kapasiteettitietojen perusteella.
7. Vaikka tiivistyskalustoa ei saataisikaan, suoritetaan kevään ensimmäinen pölynsidonta aina sekoitusmenetelmällä.
8. Myöhemmin kesällä mahdollisesti suoritettavat lisäpölynsidonnot voidaan tehdä pintasuolausmenetelmällä mikäli sekoitusmenetelmästä aiheutuu suuria lisäkustannuksia.

Kuvassa 5 on esitetty pölynsidonnan peräkkäiset työvaiheet yhdessä työkohteessa.

mahdollinen si-
demaan lisäys → kastelu → muokkaus → suolaus → sekoitus → tiivistys →

Kuva 5. Pölynsidonnan työvaiheet.

6.3 LEVITETTÄVÄT SUOLAMÄÄRÄT

Sateisen kesän 1974 johdosta ei eri suolamäärien välisiä eroja saatu suunnitellulla luotettavuudella tutkittua. Kuitenkin havaittiin tien kunnan paraneminen sekä kulutuskerroksen suolapitoisuuden kasvu levitetyn suolamäärän suuretessa. Ohjeellisina suolamäärinä voidaan kevään ensimmäistä pölynsidontaa varten suositella seuraavalla sivulla olevan taulukon 2 mukaisia suolamääriä. Taulukossa 2 ovat pienimmät suolamäärät vain 0,5 t/tie-km. Tämän tutkimuksen yhteydessä suoritetuissa kokeissa ei käytetty näin pieniä suolamääriä, joten niiden soveltuvuutta

sekoitusmenetelmässä käytettäväksi on tarkkailtava edelleen. Esitetyt suolamäärät sopivat melko hyvin ohjeisiin kokonaismateriaalimääriksi ja jättävät varaa myös uusintasuoloaukselle.

Kp-luokka	KVL (autoa/vrk)	Tien leveys			
		4m	5m	6m	7m
...4	500	2,5	3,0	3,0	3,5
5	201...500	1,5	2,0	2,0	2,5
6	101...200	1,0	1,0	1,5	1,5
7	1...100	0,5	0,5	1,0	1,0

Taulukko 2. Ohjeelliset suolamäärät t/tie-km kevään ensimmäisessä sekoitusuoloauksessa.

6.4 MUUTOSTEN TALOUDELLISET VAIKUTUKSET

Pintasuoloauksen ja sekoitusuoloauksen väliset kustannuserot syntyvät sekä suolausta suoritettaessa että suolauksen jälkeen vaadittavissa kunnossapitotöissä. Suolausvaiheessa aiheutuu sekoituksesta lisäkustannuksia, jotka riippuvat suolausta edeltävästä tien tasoitushöyläyksestä. Jos samalla suoritetaan kulutuskerrosmateriaalin tai sidemaan lisäystä ei suolan sekoittaminen tule sen kalliimmaksi kuin pintasuolauskaan. Jokakeväisessä muokkaushöyläyksessä käytetään tavallisesti kahta tiehöylää, jotka suorittavat 6...10 ajoa tien poikkileikkausta kohden. Tällöin suolaus voidaan suorittaa ennen viimeisiä höyläyksiä ja suola sekoitetaan viimeisillä ajokerroilla kulutuskerrokseen. Toisen tiehöylän korvaaminen lanalla on suositeltavaa, sillä lana on halvempi ja tehokkaampi muokkauskone kuin tiehöylä.

Ilman materiaalilisäyksiäkin tulee ensimmäisissä keväthöyläyksissä käyttää vähintään 3...5 ajokertaa tien poikkileikkausta kohden, jotta saavutetaan vaadittava viimeistelytaso. Myös tällöin voidaan suolaus suorittaa ennen viimeistä höyläyskierrosta jolloin viimeistelyä suoritettava höylä tai lana suorittaa sekoituksen.

Jos kulutuskerroksen höyläykseen riittää 2...3 höyläyskertaa tien poikkileikkausta kohden, tarvitaan suolan sekoittamiseksi ylimääräinen ajokierros, josta aiheutuu lisäkustannuksia. Sekoituksessa aiheutuvat lisäkustannukset voitetaan takaisin myöhemmin kesällä soratien vaatimissa kunnossapitotöissä, sillä sekoitusuoloattu tie ei vaadi yhtä nopeasti kunnossapitohöyläystä kuin pintasuoloattu tie. Höyläyskertojen väheneminen tuntuu tämän kokeen perusteella täysin realistiselta.

Myöskin lisäsuolauksen tarve on suolan pidemmän pysyvyyden vuoksi sekoitussuolatulla tiellä pienempi kuin pintasuolatulla tiellä, joten tätäkin kautta saavutetaan kustannussäästöjä.

Suolan sekoituksen jälkeen on suositeltavaa tiivistää kulutuskerros. Mikäli kunnossapitotoimialalla ei ole käytettävissään jyräskalustoa joudutaan sopiva jyrä hankkimaan muualta. Parhaiten työhön soveltuisi itsekulkeva kumipyöräjyrä mutta myös valssi- tai täryjyrää voidaan käyttää (katso kohta 6.2).

Seuraavaan taulukkoon on laskettu tiivistämistyön kustannukset sekä kumipyöräjyrälle (JK 00) että staattiselle valssijyrälle (JV 06).

JYRÄTYYPPI	ENIMMÄIS- OHJEVUOKRA	TYÖVUORO- KAPASITEETTI (K3)	TIIVISTYS- KUSTANNUKSET
JK 00	55,50 mk/h	1,5 km/h	37 mk/km
JV 06	41,50 mk/h	0,6 km/h	69 mk/km

Taulukko 3. Tiivistystyön kustannukset

Tiivistyskustannukset riippuvat voimakkaasti jyrän omistussuhteista. TVH:n omaa kalustoa käytettäessä vaikuttaa konepankkihintaan jyrän ikä. Vanhan jyrän pääomakustannukset ovat pienet, jolloin konepankkihintakin on alle enimmäisohjevuokran, jonka mukaan taulukon 3 arvot on laskettu.

Siirtokustannuksia arvioitaessa voidaan kumipyöräjyrän matkanopeutena pitää 20 km/h ja valssijyrän 5 km/h.

Jos tiivistys suoritetaan maamme kaikilla savorateilla kevään ensimmäisissä pölynsidontatöissä muodostuvat tiivistystyönkustannukset kumipyöräjyrää käytettäessä seuraavasti:

$$43200 \text{ km/v} \times 37 \text{ mk/km} = 1,6 \text{ mmk/v.}$$

Jotta tiivistys kannattaa tehdä on siitä aiheutuvat kustannukset voitettava takaisin myöhemmin vaadittavissa kunnossapitotöissä. Sorateiden kunnossapitokustannuksista muodostaa suurimman osuuden kuluneiden aineiden korvaaminen (taulukko 1 sivulla 3). Vuonna 1974 lisättiin kunnossapitotöissä savorateiden kulutuskerrokseen mursketta yhteensä 1 528 000 m³itd eli noin 35,4 m³itd/km. Luonnonsoraa lisättiin samanaikaisesti 235 000 m³itd eli noin 5,4 m³itd/km. Yhteensä lisättiin materiaalia noin 40,8 m³itd/km. Käytettäessä murskeelle yksikkökustan-

nuksena 17 mk/m³itd tulisi soratiekilometriä kohden pölynsidonnan yhteydessä suoritettavalla tiivistyksellä saavuttaa noin 2...3 m³itd:n eli 6 %:n säästö murskesoran lisäyksessä jotta tiivistys kannattaisi. Tämän tavoitteen saavuttamista ei tähänastisissa kokeissa ole koejaksojen lyhyyksien vuoksi voitu todeta, mutta sekoitussuolauksen yhteydessä tapahtuneesta tiivistyksestä saatujen hyvien kokemusten nojalla mainittu säästö tuntuu hyvin mahdolliselta saavuttaa. Edelläesitetty laskelma tiivistystyön vuotuisista kustannuksista edellyttää, että jokaisella maamme soratiekilometrillä suoritettaisiin sekoitussuolaus ja tiivistys. Käytännössä tällainen tilanne on mahdoton saavuttaa, sillä maassamme on paljon vähäliikenteisiä ja syrjäisiä sorateita, joilla ei ole tarkoituksenmukaista suorittaa mahdolliseen pölynsidontaan liittyvää tiivistystä. Todelliset tiivistämisestä aiheutuvat lisäkustannukset lienevät noin 1,0...1,2 mmk/v, mikä vastaa noin 30 000...35 000 soratiekilometrin tiivistystä.

